

PAT-NO: JP357000532A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 57000532 A

TITLE: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING SPECTRAL RATE

PUBN-DATE: January 5, 1982

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

TAGAMI, ICHIZO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND CO LTD N/A

APPL-NO: JP55073908

APPL-DATE: June 2, 1980

INT-CL (IPC): G01J003/02

US-CL-CURRENT: 356/300

ABSTRACT:

PURPOSE: To accurately measure the temp. and spectral rates of an object by combining (m) colors suitably out of (n) color spectral rays, assuming m-1 pieces of parameters, performing m-color spectral separation, correcting the parameters as a result of these and repeating the m-color spectral separation.

CONSTITUTION: The light from a lighting light source 17 is made into beams of light 20 of different spectral distributions by an inclusion 19 and irradiates an object 18 to be measured. The light 21 in which the light reflected therefrom and the light radiated from the object 18 are mixed by way of a surface inclusion 22 is spectrally separated by a filter 22a, and is

entered to a photoelectric converter 24. Said incident light is converted to the quantity 25 of electricity corresponding to respective effective wavelengths and is inputted together with the weight of the relative spectral radiation intensity of the lighting light source 17 to a computer 26, which determines the temp., spectral emissivity and spectral reflectance of the object 18 by a 5-color spectroscopic method. At this time, the method of combining suitable  $3 \sim 4$  colors out of the colors, assuming  $2 \sim 3$  parameters, practising a  $3 \sim 4$  spectroscopic method, correcting the parameters based on the results thereof, and again repeating the same spectroscopic method is employed.

COPYRIGHT: (C)1982,JPO&Japio

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭57—532

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 J 3/02

識別記号

庁内整理番号  
7172—2G

⑬ 公開 昭和57年(1982)1月5日

発明の数 2  
審査請求 未請求

(全 9 頁)

⑭ 分光率測定方法及び装置

川島播磨重工業株式会社田無工場内

⑯ 特 願 昭55—73908

⑰ 出 願 人 石川島播磨重工業株式会社

⑱ 出 願 昭55(1980)6月2日

東京都千代田区大手町2丁目2

⑲ 発 明 者 田上市造

番1号

田無市向台町三丁目5番1号石

⑳ 代 理 人 弁理士 絹谷信雄

明 細 書

1. 発明の名称

分光率測定方法及び装置

2. 特許請求の範囲

1. 照明された被測定物の分光率を求める方法であつて、被測定物からの放射束を  $n$  ( $n \geq 3$ ) 色の実効波長に分光した後、夫々の分光放射束を電気量に変換し、前記  $n$  色の実効波長に対応する電気量のうち、任意の  $m$  ( $n \geq m \geq 3$ ) 色の実効波長に対応する電気量を選択し、仮定による  $m-1$  ケのパラメータを用いた実効波長の関数で前記  $m$  色の実効波長に対する前記被測定物の分光放射率及び分光反射率を近似して前記被測定物の温度を求め、前記  $n$  色の実効波長に対する電気量と、前記温度から実効波長に対する被測定物の分光放射率及び分光反射率に含まれる前記仮定のパラメータを訂正し、よつて実効波長に対する被測定物の分光率を測定することを特徴とする分光率測定方法。

2. 被測定物からの放射束を  $n$  ( $n \geq 3$ ) 色の実効波長に分光する分光手段と、分光放射束を電気量に変換する変換手段と、前記  $n$  色の実効波長に対する照明光の相対分光放射束強度を計算手段に入力する入力手段を有し、前記計算手段にて前記  $n$  色に分光された放射束に該当する  $n$  ケの電気量から任意の  $m$  ( $n \geq m \geq 3$ ) ケの電気量を選択し、仮定による  $m-1$  ケのパラメータを用いた実効波長の関数で前記  $m$  ケの実効波長に対する前記被測定物の分光放射率及び分光反射率を近似して前記被測定物の温度を求め、前記  $n$  ケの電気量と前記温度から実効波長に対する被測定物の分光放射率及び分光反射率に含まれる前記仮定のパラメータを訂正し、よつて実効波長に対する被測定物の分光率を測定することを特徴とする分光率測定装置。
3. 前記計算手段がアナログまたはデジタル計算機で構成されることを特徴とする特許請求の範囲第2項に記載の分光率測定装置。

3. 発明の詳細な説明

本発明は既知の分光放射束分布の光で照射される物体の温度、分光放射率、分光反射率等の測定を行うための分光率測定方法及び装置に関する。

既知の分光放射束分布の光で照射される物体の温度分光放射率及び分光反射率等を測定する試みは幾くつか提案されており、その代表的なものとして本発明者の出願に係る特願昭54-118330がある。これは照明光源及び被測定物夫々の温度を測定する装置に関するもので火炎中の加熱物体の測定等に通じている。しかし照明光源の温度を測定出来るようにする為の代償として、フィルタの実効波長の選定に条件があることや、得られた測定値の妥当性の検討が複雑になる欠点がある。また、人工衛星の分光測光による海洋温度測定は画像解析段階では単色として扱われる。即ち深海部の温度測定には遠赤外の明るさが、また海面表層部の温度測定にはそれより短かい波長の赤外が用いられる。これ等は被測定物及び光路中に介在する物体の光学特性が既に熟知されているので、これ等の影響を受けない最も有効な波長の分光写

真を測定目的に合わせて選択し、その明るさで画像を作成している。従つて、表面凹凸等の形状係数を含めた放射率は、予め地理的データにもとづいて分類し固定しておく。更に、人工衛星による農産物の植生と生育状況の測定や赤血球の酸素量測定に於ては太陽やキセノンランプの光をあて、分光反射率や分光透過率の特徴をとらえて測定する。即ち夫々の波長に対して入射光と反射光（又は透過光）の比をとり、波長に対して比をプロットしてグラフ化し、グラフの特徴と予め準備したデータとの相関により測定するものである。この測定では、被測定物の温度放射を考慮していない。また、人工衛星の分光測光による海洋温度測定に於ては、予め準備するデータの条件と実際に測定するものの条件例えば山谷の面の向き、波の形、天候等が異なると測定値が異なってくる。更に、Kirchhoffの法則（放射率 $\epsilon$ と反射率 $\rho$ との間に $\epsilon = 1 - \rho$ なる関係）を利用する方法は実際的でないことが多い。即ち、既知の光源で被測定物を照明し、反射光を分光して反射率を測定し、放射

率を算出する場合、次の様な制約がある。

- (イ) 被測定物は鏡面で、測定装置から被測定物を直視するとき、被測定物の全面に光源が映つて見えなければならない。
- (ロ) 光源からの光は被測定物上で1回だけ反射して測定器に達しなければならない。
- (ハ) 光源から被測定物を介して測定器に達する光及び光路に介在する物体の形状の影響を含めた分光透過率や分光反射率が分つていなければならないし、特に介在物が乱反射面である場合、反射回数も判つていなければならない。また、被測定物を介さない散乱性の光も判つていなければならない。

かくして得られた分光放射率をもとに被測定物の温度放射を測定するとき、更に次の様な制約が加わる。

- (ニ) 被測定物の温度放射は、直接測定器に達し、被測定物表面上で繰り返し反射する光が混つてはならない。
- (ホ) 被測定物と測定器の間に介在する物体の透過

率や反射率と反射回数は予め被測定物の反射率を測定したときと同じ状態でなければならない。

放射と反射とは根本的に異なる法則に支配され、共通性がない。温度放射は輝度に関する法則に従い、反射は入射角と反射角の関係に従う。また、着色物体による反射光は、反射の回数を繰り返すことにより分光放射束の分布状態が変わり、着色性が強調され、色がさえる。

温度放射は光源と測定器を境界とする光路を形成し、光源から測定器に向う一方向の光なので、放射率や光路に介在する物体の透過率と反射率が夫々1次でしか関与しないので、散乱性を含め一括して扱うことが出来る。しかるに反射光は光源と測定器とを境界とする光路で被測定物が光路中の介在物となる為、被測定物表面上での往復光を考えねばならず、夫々の分光特性や散乱性が分つていないと扱えなくなる。また、被測定物と測定器の間に、光線可送性の原理が成立しそうに思え、反射で模擬出来そうに錯覚しやすいが、輝きと反射とは全く異なる光路を形成している。

本発明は、これ等従来技術における欠点を除去するものでその目的とするところは、太陽光の照明のもとでの大地の温度分布、流水状況、雲の状況、気象等のリモートセンシングに適した測定装置を提供することであり、他の目的は真空炉内物体、タービンブレード等の温度測定に適し、被測定物周辺の物体からの光が測定に影響し且つ光学特性が分らないが周辺の物体の温度だけは熱電対等により比較的容易に測定出来る場合に好適なリモートセンシング測定装置を提供することであり、その他の目的は生体手術の様に作業上照明を必要とし、且つ臓器の温度分布を手術に支障ない方法で監視して手術の安全を図るのに適した測定装置を提供することであつて、更に他の目的は、生産ラインを流れる製品の品質を温度や分光放射率で管理する場合、外からの光を遮光することなく測定可能にし、例えば研磨盤における加工中の物体の研磨焼け防止等に使用出来る装置を提供することであつて、本発明の他の目的はセメントのロータリキルンの外壁温度を昼夜に関係なく測定可能

にし、安全操作を保つのに好適な測定装置を提供するものである。

上述の目的および本発明の意図するところは温度放射や照明光の反射が混在する放射束を少なくとも3色以上に分光測光し、測定データを解析して測定値を得ることを特徴とする本発明の装置によつて達成される。なお、ここで言う分光放射率や分光反射率は、材料の物性的な値ではなく、形状や光路構成も含めた総合特性である。光は反射するたびに色がどんどん変る。またこれ等放射率や分光反射率は物体の形状が少し変わつても変化し、無限のパターンがある。更に、色ガラスの様なものからの温度放射の場合、放射率なのか透過率なのか明確に区別出来ない。ここで言う分光放射率は、被測定物が温度放射する場合、被測定物から測定器に達する全ての光路の介在物の分光特性を総合したものであり、また、分光反射率は照明光源から測定器に達する全ての光路の介在物の分光特性を総合したものである。従つて反射光の中には被測定物で反射して測定器に達するのではなく、

途中の水滴で散乱した光が混つていてもよい。このような総合的な分光放射率や分光反射率は、Kirchhoffの法則に従わない現象を包含する。以下分光放射率、分光反射率、分光透過率等を総称して分光率と呼ぶことにする。

被測定物が一定していて分光放射率や分光反射率のパターンが判つており、物体の温度放射と照明光の反射の割合だけが判らないと言う場合にもこの装置は適用する。この様な既知の情報をより多くとり入れると、装置の適用範囲が狭くなるが測定の信頼性が向上するので好ましい。また、本発明の装置は汎用性を損うことなく、比較的容易にこの様な情報をとり入れることが出来る様に構成される。

以下に本発明の好適な一実施例を示す図面と共に本発明を詳細に説明する。

まず測定原理につき、照明光源及び黒体の分光放射束発散度を示す第1図と共に説明する。

第1図に於て、横軸1に実効波長 $\lambda$ が、また縦軸2に黒体の相対分光放射束発散度 $M_\lambda$ 及び照明光

の相対分光放射束強度 $E_\lambda$ がとられる。ここで曲線3は黒体の相対分光放射束発散度で、Planckの式で計算されたものであり、また、曲線4は照明光の相対分光放射束強度で、一般にはPlanckに従わない曲線であり太陽光や蛍光灯の光が例である。横軸1上に目盛られた値 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ は分光測光に於ける各フィルタの実効波長であり、この様な分光測光では、曲線3や曲線4が波長に対して連続的に測定されるのではなく、点線6との交点、例えば点7、点8の縦軸2の値が離散的に測定される。

曲線4の分布は、本発明に係る測定器で測定してもよく、あるいは別途測定してもよい。本願に係る測定器で測定する例では照明光のみを測定器に入射する手段を用いて分光測光すると共に分光器を用いて地表に於ける太陽のスペクトルを測定する。あるいは照明光が温度放射をしている場合、光を測定せず、温度を熱電対等で測定し、計算によつて照明光の相対分光放射束強度を得る。照明光の相対分光放射束強度は出来るだけ測定器にて

直視される視野を照明する値を測定するのが好ましい。また、被測定物の分光反射率の相対値が予め分つている場合には、この相対値を照明光の相対分光放射束強度に含ませることが好ましい。

以上を考慮して、実効波長  $\lambda_i$  に対する照明光源の相対放射束強度即ち第1図の曲線4を  $C_1 \lambda_i^{-5} \theta_i$  で定義する。 $C_1$  は後述の式(1)の  $C_1$  と同じ値である。照明光の相対分光放射束強度の重み。 $\theta_i$  の値は離散的であり、曲線4は凹凸のある曲線となる。また、被測定物の分光反射率を  $\rho$  とし、 $\rho$  が実効波長に対して出来るだけなだらかに変化する様に上述の  $\theta_i$  を決定する。真の分光放射率を  $\epsilon$  とし、 $\epsilon = v h$  で表わす。被測定物の分光放射率が分つていないときには  $h=1$  とし、分つているときは、その値を  $h$  とする。被測定物の分光放射率は波長に対してなだらかに変化する場合と、例えば水蒸気のように激しく変化する場合とがある。後者の場合フィルタの実効波長の選定や後述の  $m$  色分光法による  $n$  色分光法の手段で測定し易くするが、それでもなお残る凹凸の影響を少なくする為に、 $h$  の値を用いる。 $h$  は色彩的には色相に近い

ものである。 $v$  は色相を加味した明るさに近いもので、実効波長に対してなだらかに変化する関数であり、本願に係る解析手段に於て未知関数として扱う。

本発明は被測定物の温度と真の分光放射率及び真の分光反射率を求めることを目的とする装置を提供するものであつて、前述の分光放射率  $\rho$  が求まれば、 $\theta_i$  を決定するときのデータと併せて真の分光反射率が一義的に決る。

また、前述の  $v$  が求まれば、予め分つている  $h$  を用いて真の分光放射率  $\epsilon$  が一義的に決る。従つて本発明に係る測定装置の解析手段の主要課題は、温度  $T$  と  $v$  及び  $\rho$  を求めることであり、以下の測定原理の説明に於て、 $v$  及び  $\rho$  を夫々分光放射率及び分光反射率と呼ぶ。

本発明に係る測定器に入射する光は、被測定物の温度放射と、照明光の反射の混合したものである。被測定物の温度放射は、曲線3の黒体放射が真の分光放射率  $\rho$  によつて歪んだ分光分布の放射である。また、照明光の反射は曲線4の照明光が

分光反射率  $\rho$  で歪んだ分光分布の反射である。第2図は、横軸1に実効波長  $\lambda$  を、縦軸9に分光放射率  $v$  及び分光反射率  $\rho$  をとつたもので、縦軸9の座標10を通り、横軸1に平行な直線11は、放射か反射か、いずれかしかない状態である。

放射と反射がどの波長についても同じ割合で混る状態(上述の  $h$  及び  $\theta_i$  の定義を考慮しなければならぬが便宜上、灰色と呼ぶ)を横軸1に平行な点線12で示す。放射と反射が波長によつて異なつた割合で混る状態を一点鎖線13で示す。放射と反射の間に Kirchhoff の法則が成立しない場合をも測定対象としているので、 $v$  と  $\rho$  の間に一定な関係は存在しない。

次に  $m$  色分光法につき説明する。

分光器の透過率や光電変換器の分光感度あるいは、アンプのゲイン等、測定器固有のゲイン定数を予め測定しておき、一括して分光ゲイン  $f_i$  とする。被測定物の温度を  $T$ 、実効波長  $\lambda_i$  に対する測定データを  $X_i$  とすると、これ等の間には式(1)の関係がある。実効波長  $\lambda_i$  はフィルタの主波長では

なく、レンズや光電変換器の分光特性を含めて測定する。

$$X_i = f_i \left\{ v_i h_i C_1 \lambda_i^{-5} \frac{1}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda_i T}\right) - 1} + \rho_i C_1 \lambda_i^{-5} \theta_i \right\} \dots (1)$$

但し、 $C_1 = 3.74158 \times 10^{-16} \text{ [W} \cdot \text{m}^2]$

$C_2 = 0.0143879 \text{ [m} \cdot \text{deg}]$

$\lambda_i$  : フィルタの実効波長(既知) [m]

$T$  : 被測定物の温度 (未知) [°K]

$f_i$  : 測定器固有の分光ゲイン(既知) [ $\text{Vm}^3/\text{W}$ ]

$v_i$  : 分光放射率 (未知) [—]

$h_i$  : 分光放射率の重み (既知) [—]

$\rho_i$  : 分光反射率 (未知) [—]

$\theta_i$  : 照明光の相対分光放射束強度の重み (既知) [—]

$X_i$  : 測定データ (入力) [V]

$i = 1, 2, 3, 4, 5$

式(1)を整理すると式(2)となる。

$$Y_i = v_i u_i + \rho_i \theta_i \dots (2)$$

但し

$$Y_i = \frac{X_i}{C_1 f_i \lambda_i^{-5}} \dots (3)$$

$$u_i = \frac{h_i}{\exp\left(-\frac{C_2}{\lambda_i T}\right) - 1} \quad \dots\dots (4)$$

$$i = 1, 2, 3, 4, 5$$

式(3)の $Y_i$ は $X_i$ が入力すると定まる値である。測定対象により5色分光測光、4色分光測光及び3色分光測光のいずれかを適用する。以下に各々の分光測光につき説明する。

(f) 放射も反射も有色物体特性である場合、5色分光測光を行なう。ここで分光放射率 $v_i$ も分光反射率 $\rho_i$ もともに実効波長 $\lambda_i$ の一次関数で表わし得ると見做し、

$$v_i = V_0 + V_1 \lambda_i \quad \dots\dots (5)$$

$$\rho_i = R_0 + R_1 \lambda_i \quad \dots\dots (6)$$

$i = 1, 2, 3, 4, 5$ に関する式(2)と式(5)、式(6)に於て未知数は $T, V_0, V_1, R_0, R_1$ の5つの値となる。式(2)、式(5)、式(6)から代数的に $V_0, V_1, R_0, R_1$ を消去すると温度 $T$ のみを未知数とする一元方程式(7)を得る。なお、式

(7)に於ける $u_i, u_j$ は、式(4)から、温度 $T$ のみを未知数とする関数となる。

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 a_{ij} \frac{u_i}{\theta_i} \frac{u_j}{\theta_j} \quad \dots\dots (7)$$

但し $a_{ij}$ は次表の通り、 $Y_i$ 即ち入力 $X_i$ が与えられれば定まる。ここで

$$\lambda_{ij} = \lambda_i - \lambda_j \quad \dots\dots (9)$$

である。

表

$$\begin{aligned} a_{12} &= \frac{Y_3}{\theta_3} - \frac{\lambda_{53}}{\lambda_{54}} \frac{Y_4}{\theta_4} + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{55}} \frac{Y_5}{\theta_5} \\ a_{13} &= -\frac{\lambda_{31}}{\lambda_{21}} \frac{Y_2}{\theta_2} + \left( \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{43}\lambda_{54}} - \frac{\lambda_{31}\lambda_{32}}{\lambda_{21}\lambda_{43}} \right) \frac{Y_4}{\theta_4} - \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_5}{\theta_5} \\ a_{14} &= \frac{\lambda_{41}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_2}{\theta_2} + \left( \frac{\lambda_{32}\lambda_{41}}{\lambda_{21}\lambda_{43}} - \frac{\lambda_{41}\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{43}\lambda_{54}} \right) \frac{Y_3}{\theta_3} + \frac{\lambda_{32}\lambda_{41}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_5}{\theta_5} \\ a_{15} &= -\frac{\lambda_{43}\lambda_{51}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_2}{\theta_2} + \frac{\lambda_{42}\lambda_{51}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_3}{\theta_3} - \frac{\lambda_{32}\lambda_{51}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_4}{\theta_4} \\ a_{23} &= \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{21}} \frac{Y_1}{\theta_1} + \left( \frac{\lambda_{31}\lambda_{32}}{\lambda_{21}\lambda_{43}} - \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{43}\lambda_{54}} + \frac{\lambda_{53}}{\lambda_{54}} \right) \frac{Y_4}{\theta_4} + \left( \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} - \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{54}} \right) \frac{Y_5}{\theta_5} \\ a_{24} &= -\frac{\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_1}{\theta_1} + \left( \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{32}\lambda_{54}} - \frac{\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{32}\lambda_{54}} - \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}}{\lambda_{21}\lambda_{43}} \right) \frac{Y_3}{\theta_3} - \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_5}{\theta_5} \\ a_{25} &= \frac{\lambda_{43}\lambda_{52}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_1}{\theta_1} + \left( \frac{\lambda_{43}\lambda_{52}}{\lambda_{32}\lambda_{54}} - \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}\lambda_{52}}{\lambda_{21}\lambda_{32}\lambda_{54}} \right) \frac{Y_3}{\theta_3} + \frac{\lambda_{31}\lambda_{52}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_4}{\theta_4} \\ a_{34} &= \left( \frac{\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} - \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{21}} \right) \frac{Y_1}{\theta_1} + \left( \frac{\lambda_{31}}{\lambda_{21}} - \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{32}\lambda_{54}} + \frac{\lambda_{43}\lambda_{53}}{\lambda_{32}\lambda_{54}} \right) \frac{Y_2}{\theta_2} + \frac{\lambda_{43}}{\lambda_{54}} \frac{Y_5}{\theta_5} \\ a_{35} &= -\frac{\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{54}} \frac{Y_1}{\theta_1} + \left( \frac{\lambda_{31}\lambda_{42}\lambda_{53}}{\lambda_{21}\lambda_{32}\lambda_{54}} - \frac{\lambda_{43}\lambda_{53}}{\lambda_{32}\lambda_{54}} \right) \frac{Y_2}{\theta_2} - \frac{\lambda_{53}}{\lambda_{54}} \frac{Y_4}{\theta_4} \\ a_{45} &= \frac{\lambda_{32}}{\lambda_{21}} \frac{Y_1}{\theta_1} - \frac{\lambda_{31}}{\lambda_{21}} \frac{Y_2}{\theta_2} + \frac{Y_3}{\theta_3} \end{aligned}$$

(g) 放射については相対分光放射率が既知で反射に対する割合のみがわからない。また、反射に対しては有色物体特性である場合は4色分光測光を行なう。

これは被測定物の温度が低く、温度放射の割合が反射に比べて小さく、且つ反射に重点を置く測定に適している。

分光反射率 $v_i$ を未知定数とし、分光反射率 $\rho_i$ を実効波長の一次関数で表わし得るものと見做す。

$$v_i = V_0 \quad \dots\dots (9)$$

$$\rho_i = R_0 + R_1 \lambda_i \quad \dots\dots (6')$$

$i = 1, 2, 3, 4$ に関する式(2)と式(9)、式(6')に於て、未知数は $T, V_0, R_0, R_1$ の4つの値となる。式(2)、式(9)、式(6')から代数的に $V_0, R_0, R_1$ を消去すると、温度 $T$ のみを未知数とする一元方程式(10)を得る。

$$-\frac{u_1}{\theta_1} + \left(\frac{\lambda_3 - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_2} + K\right) \frac{u_2}{\theta_2} - \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_2} + \frac{\lambda_4 - \lambda_2}{\lambda_4 - \lambda_3} K\right) \frac{u_3}{\theta_3} + \frac{\lambda_3 - \lambda_4}{\lambda_4 - \lambda_3} K \frac{u_4}{\theta_4} = 0 \quad \dots\dots 00$$

但し、

$$K = \frac{\frac{Y_1}{\theta_1} - \frac{\lambda_3 - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_2} \frac{Y_2}{\theta_2} + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_2} \frac{Y_3}{\theta_3}}{\frac{Y_2}{\theta_2} - \frac{\lambda_4 - \lambda_2}{\lambda_4 - \lambda_3} \frac{Y_3}{\theta_3} + \frac{\lambda_3 - \lambda_2}{\lambda_4 - \lambda_3} \frac{Y_4}{\theta_4}} \quad \dots\dots 01$$

。式(00)に於て、 $u_1, u_2, u_3, u_4$ は式(4)から温度  $T$  のみを未知数とする関数である。また、 $K$ は  $Y_i$  即ち入力  $X_i$  が与えられれば定まる。

(f) 放射に対する相対分光放射率も、反射に対する相対分光反射率も、ともに既知で、放射と反射の割合のみがわからない場合は3色分光測光を行なう。分光放射率  $v_i$  及び分光反射率  $\rho_i$  をともに夫々未知定数で表わす。

$$v_i = V_0 \quad \dots (9)$$

$$\rho_i = R_0 \quad \dots 02$$

$i = 1, 2, 3$  に関する式(2)と、式(9)、式(02)

につき説明する。

5色分光で測定する場合、式(7)を用いて測定出来ることは既に述べた通りである。また、5色のうち適宜組み合わせた4色につき式(00)で測定出来る。また5色のうち、適宜組み合わせた3色につき式(03)で測定出来る。この様に組み合わせを種々変化させて得られる測定値を比較し、もつともらしい温度や分光放射率、分光反射率を決定する。例えば平均値で決めるかあるいは測定値分布から頻度の多い範囲の測定値で決め、頻度の少ない測定値は分光放射率や分光反射率の仮定が良くないと見做す。

第3図は、 $m=3, n=5$  即ち3色分光法を利用した5色分光法の例示の説明図である。

第3図に於て、横軸1に実効波長  $\lambda$  を、縦軸9に分光放射率  $v$  及び分光反射率  $\rho$  をとり、一点鎖線13は第2図の一点鎖線13と同じく例えば分光反射率  $\rho$  の分布を示す。横軸に目盛つた  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$  は5色分光のフィルタの各実効波長  $\lambda$  を示す。実効波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  の組み合

に於て、未知数は  $T, V_0, R_0$  の3つの値となる。式(2)、式(9)、式(03)から代数的に  $V_0, R_0$  を消去すると温度  $T$  のみを未知数とする一元方程式(03)を得る。

$$\left(\frac{Y_2}{\theta_2} - \frac{Y_3}{\theta_3}\right) \frac{u_1}{\theta_1} + \left(\frac{Y_3}{\theta_3} - \frac{Y_1}{\theta_1}\right) \frac{u_2}{\theta_2} + \left(\frac{Y_1}{\theta_1} - \frac{Y_2}{\theta_2}\right) \frac{u_3}{\theta_3} = 0 \quad \dots\dots 03$$

式(03)に於て、 $u_1, u_2, u_3$  は式(4)から、温度  $T$  のみを未知数とする関数である。

式(7)、式(00)、式(03)のいずれかにより、被測定物の温度  $T$  を得る。この  $T$  を式(2)に代入して  $v_i, \rho_i$  に関する一元連立方程式を解き、分光放射率及び分光反射率を求める。このとき、式(5)、式(6)あるいは式(9)、式(6)あるいは式(9)、式(03)を用いる。また、 $m$  色分光に於て、 $m$  色の式が連立する式(2)から、任意に  $m-1$  色の式を選んで  $v_i, \rho_i$  に関する一元連立方程式を設定する。どの様な  $m-1$  色の組み合わせの連立方程式に対しても答は一致する。

次に  $m$  色分光法を利用した  $n$  色分光法 ( $n \geq 4$ )

せについては分光放射率の分布を、横軸1に平行な2点鎖線15とし、また、実効波長  $\lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$  の組み合わせの分光放射率の分布を2点鎖線16とし、夫々を式(03)で測定する。かくして得られた2点鎖線14, 15, 16の分布を第3図に描くと、一点鎖線に近い傾斜の階段状のグラフとなる。この階段状のグラフの傾斜から式(1)の分光放射率の重み  $h_i$  を修正して再度3色分光法の計算を繰り返す。この様な繰り返しのより、温度  $T$ 、分光放射率  $v$ 、分光反射率  $\rho$  の正確な値を得る。

$m$  色分光法を利用した  $n$  色分光法の特徴は、フィルタの実効波長の選定を、測定に都合のよい様に偏在させたり、分光放射率や分光反射率が実効波長に対してなめらかに変化しない場合でも、折線的な測定が出来ることである。

以下に実際の測定状態を示す実施例の図と共に本発明を説明する。

第4図は基本的な装置の構成を示すもので、照明光源17は蛍光灯を例にしている。温度放射をする被測定物18は、形状や表面粗さがどの様な



ものでもよい。照明光源17からの光は、例えば灯具の様な介在物19により、光源自身の分光放射束発散度と異なる分光分布の光20となつて被測定物を照らす。測定器に入射する光21は、被測定物18の放射と光20の反射とが表面介在物22を介して混合されたものである。表面介在物22は被測定物18の表面物質や表面を覆う煙状のものからなる。測定器に入射する光21を分光器で分光し、各実効波長の単色光23として光電変換器24に入射し、夫々の実効波長に対する電気量25に変換し、計算器26に入力する。計算器26は式(1)に於ける定数 $C_1$ 、 $C_2$ 、実効波長 $\lambda_i$ 、測定器固有の分光ゲイン $f_i$ 、分光放射率の重み $h_i$ を記憶し、また、別途測定器27で得られる照明光源17の相対分光放射束強度の重み $\theta_i$ 28の入力を記憶する手段を有し、電気量25の入力によつて前述の解析により、被測定物18の温度測定値29及び真の分光放射率及び真の分光反射率の測定値30を出力する手段を有する。例示における分光器はフィルタ22aを切換器22bで順

次切替えるもので、レンズ22cで測定器に入射する光21を有効に光電変換器24に達する様にしている。

例示では、別途測定器27と計算器26とはオンラインで繋がっているが、相対分光放射束強度の重み $\theta_i$ 28を手操作で計算器26に入力することもできる。また、分光器には、干渉フィルタ、プリズム、回折格子、ダイクロックミラー等用途に応じて適宜選び用いる。

第5図は、単結晶製造るつぼ炉の単結晶析出部の測温を示すもので、照明光源となる黒鉛るつぼ31の温度を熱電対32の起電力として取出し、計算手段により式(1)の相対分光放射束強度の重み $\theta_i$ 28として計算器26に入力する。

回転軸33にとりつけた単結晶34を静かに引き上げると、高周波コイル35により加熱された融液36が析出凝固し、単結晶34が成長する。るつぼ31は容器37で大気と遮ぎられている。

レンズ22d、光学繊維22e、レンズ22fは、第4図のレンズ22cの作用をしている。ま

た、フィルタ22a、切替器22b、光電変換器24、温度測定値29、真の分光放射率及び真の分光反射率の測定値30は、第4図の夫々同番号を付されたものと同じである。単結晶析出部の温度測定に熱電対の様な接触測定手段は用いられない。また、微妙な温度変化を検出して操作を制御しなければならないので、反射光を無視した光学的温度測定では具合が悪い。また、凝固部は幾何的にも物理的にも安定せず、放射率や反射率が一定と見做すことも出来ない。

第6図は手術中の生体38の温度や分光放射率、分光反射率の分布を測定する例示である。この例示では、光学系にビームスキャン39を付与して画像が得られる様にしていると共に、照明光の測定手段および基準温度光源41を測定器に組み込んでいる。

生体38は血で汚れており、また、部分によつて色が異なるので、分光放射率や分光反射率は一定しない。照明光源17は、測定器の実効波長成分の光を放射しない様な対策をしているが完全な

対策は出来ない。比較鏡39eは、被測定物からの放射束21あるいは照明光20あるいは基準光42のいずれかを選択して分光器22に入射するものである。計算器43は基準光42のデータ及び照明光20のデータを記憶する。基準光42は測定器が正確に動作しているかどうか検査するのに用いる。例えば分光器22を検査するには基準光42のみを測定する。あるいは基準光44のデータと照明光20のデータとを計算器43にて混合し、ビームスキャン39の変色を検査したり、受像器44の表示を調節する。ビームスキャン39は鏡を揺動させる例を示す。即ち、走査鏡39aを矢印39bの方向に揺動しこれと直角の方向39cに揺動する集光鏡39dで被測定物全面を走査する。照明光20はレンズ40a、光学繊維40bにより比較鏡39eに導かれる。絞り22gは光電変換器24に入射する光が適正光量となる様に調整するものであり、インターフェース45は、計算器43の出力を受像器44の映像信号に変換するものである。なお、フィルタ

22-a、切替器22b及びレンズ22cは第4図に示すものと同一である。

以上第4図、第5図及び第6図に示す実施例はオンラインデータ処理における例示であるが、内燃機関燃焼室内火炎の測定や、航空機を用いた地表の測定の様に、一度に多量のデータを得る必要があるときは、測定データを分光写真や磁気テープを介して計算機に入力する必要がある。また高速を要するデータ処理では、アナログ計算機を用いる必要がある。

上述の様に本発明は、既知の分光放射束分布の光で照明される物体の温度、分光放射率、分光反射率を正確に測定できるので以下の如き各分野に於ける応用及び効果が得られる。

資源；リモートセンサとして海洋や大陸の温度と水分あるいは植生分布の測定および気象測定。

操業管理；建物群の温度管理やプラントの操業温度管理を行ない、省エネルギーや安全操業に資する。

産業；熱管理を要するプロセスの管理あるいは分

光率測定による品質の管理、炉内物体や回転体の温度管理。

医療；解剖中の生体の温度分布管理。

軍事；索敵照準等を、背景光の影響を除いて正確に行なう。

気象；昼間の雲の温度分布の測定。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は照明光源及び黒体の分光放射束発散度の説明図、

第2図は分光率の説明図、

第3図は本発明に係るm色分光法を利用したn色分光法の説明図、

第4図は本発明に係る基本的装置を示す図、

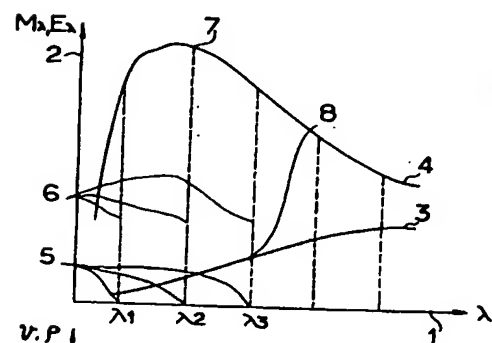
第5図は照明源の温度を熱電対で測定する、本発明に係る一実施例の図、

第6図はビームスキャンによる画像測定に於ける本発明の一実施例の図。

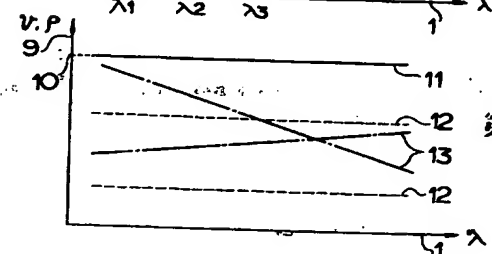
図中17は照明光源、18は被測定物、19は介在物、22は表面介在物、22aはフィルタ、26は計算器、31は黒鉛るつぼ、39はビーム

スキャン、44は受像器を示す。

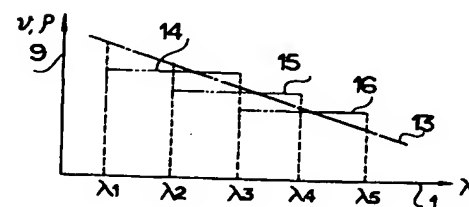
特許出願人 石川島播磨重工業株式会社  
代理人 井理士 絹谷 信雄



第1図

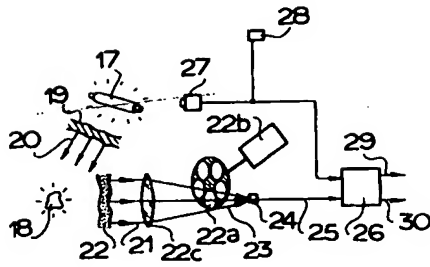


第2図

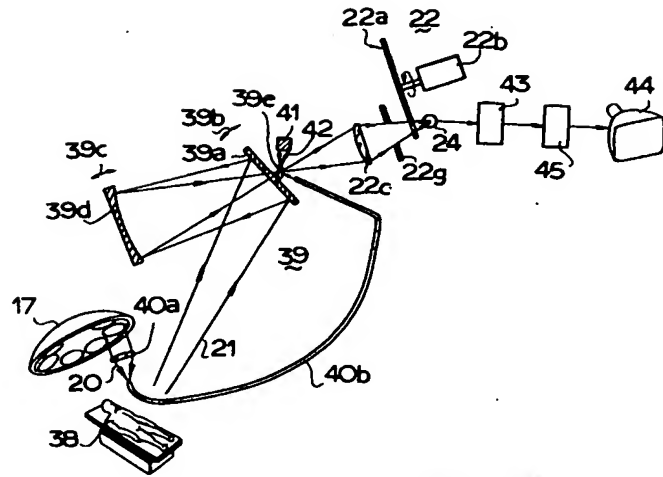
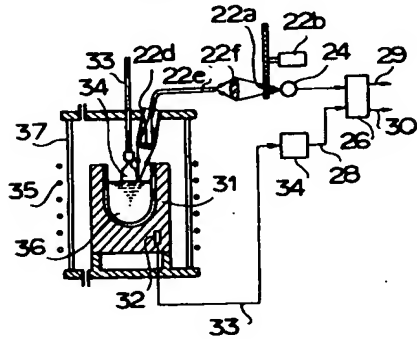


第3図

第 4 図



第 5 図



第 6 図